



Guía docente				
Datos Identificativos				2023/24
Asignatura (*)	Estructuras III	Código	632514003	
Titulación	Mestrado Universitario en Enxeñaría de Camiños, Canais e Portos			
Descriptorios				
Ciclo	Periodo	Curso	Tipo	Créditos
Máster Oficial	1º cuatrimestre	Primero	Obligatoria	6
Idioma	Castellano			
Modalidad docente	Presencial			
Prerrequisitos				
Departamento	Construcións e Estruturas Arquitectónicas, Cívicas e Aeronáuticas			
Coordinador/a	Díaz García, Jacobo Manuel	Correo electrónico	jacobodiaz@udc.es	
Profesorado	Baldomir García, Aitor	Correo electrónico	aitor.baldomir@udc.es	
	Díaz García, Jacobo Manuel		jacobodiaz@udc.es	
	Romera Rodríguez, Luis Esteban		l.romera@udc.es	
Web	campusvirtual.udc.gal			
Descripción general	El objetivo global de la asignatura es adquirir los fundamentos teóricos y prácticos del análisis de estructuras mediante el Método de Elementos Finitos (MEF). Para ello se plantean los siguientes objetivos parciales: <ul style="list-style-type: none"><li>- Comprender las bases teóricas del MEF, tipos de elementos, características y tipologías de aplicación en ingeniería civil.</li><li>- Aplicar el MEF utilizando programas de diseño y cálculo de estructuras por ordenador.</li><li>- Despertar una visión crítica del alumno sobre los resultados obtenidos.</li><li>- Iniciar al alumno en el análisis no lineal de estructuras.</li></ul>			

Competencias del título	
Código	Competencias del título
A1	Capacitación científico-técnica y metodológica para la asesoría, el análisis, el diseño, el cálculo, el proyecto, la planificación, la dirección, la gestión, la construcción, el mantenimiento, la conservación y la explotación en los campos relacionados con la Ingeniería Civil: edificación, energía, estructuras, geotecnia, hidráulica, hidrología, ingeniería cartográfica, ingeniería marítima y costera, ingeniería sanitaria, materiales de construcción, medio ambiente, ordenación del territorio, transportes y urbanismo, entre otros
A2	Capacidad para comprender los múltiples condicionamientos de carácter técnico, legal y de la propiedad que se plantean en el proyecto de una obra pública, y capacidad para establecer diferentes alternativas válidas, elegir la óptima y plasmarla adecuadamente, previendo los problemas de su construcción, y empleando los métodos y tecnologías más adecuadas, tanto tradicionales como innovadores, con la finalidad de conseguir la mayor eficacia dentro del respeto por el medio ambiente y la protección de la seguridad y salud de los trabajadores y usuarios de la obra pública
A3	Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria durante el desarrollo de la profesión de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
A4	Conocimiento de la historia de la Ingeniería Civil y capacitación para analizar y valorar las obras públicas en particular y la construcción en general
A5	Conocimiento de la profesión de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y de las actividades que se pueden realizar en el ámbito de la Ingeniería Civil
A6	Aplicación de las capacidades técnicas y gestoras en actividades de I+D+i dentro del ámbito de la Ingeniería Civil
A8	Utilización de los ordenadores para la resolución de problemas complejos de ingeniería. Utilización de métodos y modelos sofisticados de cálculo por ordenador así como utilización de técnicas de sistemas expertos y de inteligencia artificial en el contexto de sus aplicaciones en la resolución de problemas del ámbito estricto de la Ingeniería Civil
A9	Capacidad para resolver numéricamente los problemas matemáticos más frecuentes en la ingeniería, desde el planteamiento del problema hasta el desarrollo de la formulación y su implementación en un programa de ordenador. En particular, capacidad para formular, programar y aplicar modelos numéricos avanzados de cálculo, así como capacidad para la interpretación de los resultados obtenidos en el contexto de la ingeniería civil, la mecánica computacional y/o la ingeniería matemática, entre otros



A11	Capacidad para documentarse, obtener información y aplicar los conocimientos de materiales de construcción en sistemas estructurales. Conocimientos de la relación entre la estructura de los materiales y las propiedades mecánicas que de ella se derivan, incluyendo la caracterización microestructural. Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar los métodos, procedimientos y equipos que permiten la caracterización mecánica de los materiales, tanto experimentales como analíticos. Conocimiento teórico y práctico avanzados de las propiedades de los materiales de construcción más utilizados en ingeniería civil. Capacidad para la aplicación de nuevos materiales a problemas constructivos.
A17	Capacidad para analizar y comprender como las características de las estructuras influyen en su comportamiento, así como conocer las tipologías más usuales en la Ingeniería Civil. Capacidad para utilizar métodos tradicionales y numéricos de cálculo y diseño de todo tipo de estructuras de diferentes materiales, sometidas a esfuerzos diversos y en situaciones de comportamientos mecánicos variados. Conocimiento de las diferentes tipologías de puentes metálicos, de hormigón y mixtos, su comportamiento estructural, los métodos de cálculo y los procedimientos constructivos empleados.
A18	Conocimiento teórico y práctico para el análisis no lineal y dinámico estructural, con especial hincapié en el análisis sísmico, mediante la aplicación de los métodos y programas de diseño y cálculo dinámico de estructuras por ordenador, a partir del conocimiento y comprensión de las cargas dinámicas más habituales y su aplicación a las tipologías estructurales de la Ingeniería Civil.
A19	Capacidad para definir el planteamiento del problema de diseño óptimo de estructuras, mediante la aplicación de los métodos de optimización lineal y no lineal más habituales en diversas tipologías estructurales, incluyendo conceptos de análisis de sensibilidad.
A20	Conocimiento de los esquemas estructurales más utilizados en Ingeniería Civil, y capacidad para analizar los antecedentes históricos y su evolución a lo largo del tiempo. Comprensión de las interacciones entre las tipologías estructurales, los materiales de construcción existentes en cada etapa histórica y los medios de cálculo utilizados.
A52	Conocimiento y comprensión de los diferentes estilos artísticos, en relación con el contexto histórico, económico y social de su época desarrollando la capacidad para apreciar e incluir condicionantes estéticos en la obra civil.
B1	Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.
B2	Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación
B3	Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio
B4	Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios
B5	Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades
B6	Resolver problemas de forma efectiva
B7	Aplicar un pensamiento crítico, lógico y creativo
B8	Trabajar de forma autónoma con iniciativa
B9	Trabajar de forma colaborativa
B16	Valorar críticamente el conocimiento, la tecnología y la información disponible para resolver los problemas con que deben enfrentarse
B18	Valorar la importancia que tiene la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico en el avance socioeconómico y cultural de la sociedad
C1	Reciclaje continuo de conocimientos en una perspectiva generalista en el ámbito global de actuación de la ingeniería civil.
C2	Comprender la importancia de la innovación en la profesión.
C5	Comprensión de la necesidad de actuar de forma enriquecedora sobre el medio ambiente contribuyendo al desarrollo sostenible.
C9	Capacidad para organizar y planificar.
C13	Claridad en la formulación de hipótesis
C15	Capacidad de trabajo personal, organizado y planificado
C21	Capacidad de realizar pruebas, ensayos y experimentos, analizando, sintetizando e interpretando los resultados

## Resultados de aprendizaje

Resultados de aprendizaje	Competencias del título
---------------------------	-------------------------



Capacidad de plantear, ejecutar y analizar modelos de elementos finitos adecuados al problema que desea resolver y capacidad de interpretar los resultados numéricos obtenidos del análisis lineal y no lineal de estructuras	AM1	BM1	CM1
	AM2	BM2	CM2
	AM3	BM3	CM5
	AM4	BM4	CM9
	AM5	BM5	CM13
	AM6	BM6	CM15
	AM8	BM7	CM21
	AM9	BM8	
	AM11	BM9	
	AM17	BM16	
	AM18	BM18	
	AM19		
	AM20		
	AM52		

Contenidos	
Tema	Subtema
Introducción al método de los elementos finitos	Sistemas discretos y continuos: elementos, nudos y grados de libertad. Etapas del proceso de solución. Tipos de elementos. Obtención de las ecuaciones de equilibrio. Matriz de rigidez y vectores de carga. Ejemplos de aplicación.
Elemento unidimensional barra a axil	Discretización. Elemento lineal: funciones de forma y formulación isoparamétrica. Principio de trabajos virtuales (PTV). Matrices elementales. Elementos lagrangianos de orden superior. Ejemplos.
Elementos finitos en elasticidad bidimensional	Teoría de elasticidad 2D. Elemento triangular lineal, PTV y discretización. Ecuaciones de equilibrio. Movimientos y magnitudes derivadas. Elemento rectangular bilineal. Propiedades de la solución y convergencia. Elementos lagrangianos y serendipitos de orden superior. Formulación isoparamétrica. Integración analítica y numérica. Estabilidad, convergencia e integración. Mejoras del elemento C4. Estudio comparativo de los elementos. Ejemplos.
Introducción al programa comercial de EF Abaqus	Estructura. Módulos. Tipos de mallas. Elementos. Cargas, casos de carga y condiciones de contorno. Comprobaciones, cálculo y visualización. Módulos de análisis.
Elementos finitos tridimensionales	Elasticidad 3D. Ecuaciones constitutivas. PTV. Elementos tetraédricos y hexaédricos. Formulación isoparamétrica e integración. Análisis comparativo. Efecto de la distorsión. Ejemplos de aplicación.
Elementos viga	Teoría de Navier-Bernouilli. Elemento viga hermitico de clase C1. Cortante. Elemento viga de Timoshenko de clase C0. Análisis comparativo. Estructuras 2D y 3D. Condiciones de contorno. Ejemplos.
Elementos placa	Teoría de placas. Placa de Kirchhoff y placa de Reissner-Mindlin. Equilibrio y relaciones momento-curvatura. PTV. Elementos placa delgada: elementos de clase C1 MCZ y DKT. Elementos placa gruesa. Integración y bloqueo de la solución. Cálculo de esfuerzos y tensiones. Efecto del esviaje. Ejemplos.
Elementos lámina	Formulaciones y tipos de elementos. Elementos lámina plana: Teorías de Reissner-Mindlin y Kirchhoff. PTV. Matrices elementales. Problemas de coplanariedad. Elementos lámina espacial curva. Ejemplos.
Introducción al análisis no lineal de estructuras mediante el MEF	Tipos de no linealidades. Esquemas de control, métodos iterativos y convergencia. Tensores de deformaciones y tensiones. No linealidad geométrica, del material y contacto. Ejemplos.



Temas complementarios	Estimación del error. Aspectos computacionales. Mallas adaptativas. Subestructuración. Problemas térmicos. Elementos axisimétricos y de revolución. Análisis dinámico mediante el MEF.
-----------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Planificación				
Metodologías / pruebas	Competencias	Horas presenciales	Horas no presenciales / trabajo autónomo	Horas totales
Sesión magistral	A1 A2 A3 A4 A5 A6 A11 A17 A18 A19 A20 A52 B1 B2 B7 B16 C5 C13	24	48	72
Solución de problemas	A1 A2 A7 A8 A9 A11 A12 A17 A18 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B11 B12 B19 B13 B16 B18 C1 C2 C3 C9 C13 C15 C21	25	37.5	62.5
Prueba objetiva	A1 A2 A7 A8 A9 A11 A12 A17 A18 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B11 B12 B19 B13 B16 B18 C1 C2 C3 C9 C13 C15 C21	2.5	0	2.5
Trabajos tutelados	A1 A2 A7 A8 A9 A11 A12 A17 A18 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B11 B12 B19 B13 B16 B18 C1 C2 C3 C9 C13 C15 C21	3	9	12
Atención personalizada		1	0	1

(\*) Los datos que aparecen en la tabla de planificación són de carácter orientativo, considerando la heterogeneidad de los alumnos

Metodologías	
Metodologías	Descripción
Sesión magistral	Exposición de contenidos conceptuales de los diversos temas.
Solución de problemas	Resolución de las prácticas analíticas y numéricas de los diferentes temas planteadas por los profesores.
Prueba objetiva	Examen escrito y mediante ordenador de los contenidos de la asignatura.
Trabajos tutelados	Los alumnos pueden realizar de forma voluntaria las prácticas analíticas y de ordenador planteadas por los profesores durante el curso.

Atención personalizada	
Metodologías	Descripción
Prueba objetiva	Los alumnos deberán resolver las dudas que se les planteen antes o después de que las prácticas de cada tema hayan sido resueltas en el aula por los profesores de la asignatura.
Sesión magistral	
Trabajos tutelados	De la misma forma, los alumnos pueden resolver las dudas asociadas a las sesiones magistrales o a los trabajos tutelados con cualquiera de los profesores de la asignatura.
Solución de problemas	Los alumnos pueden acudir a tutoría individualmente o en grupo.



Evaluación			
Metodoloxías	Competencias	Descrición	Calificación
Prueba objetiva	A1 A2 A7 A8 A9 A11 A12 A17 A18 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B11 B12 B19 B13 B16 B18 C1 C2 C3 C9 C13 C15 C21	Examen que consta de dos partes: Una parte donde se evalúan cuestións teóricas y exercicios prácticos sobre o método de los elementos finitos y outra parte donde se evalúa o coñecemento do programa Abaqus mediante un exercicio práctico en el Laboratorio de Cálculo de Estructuras.	100
Trabajaos tutelados	A1 A2 A7 A8 A9 A11 A12 A17 A18 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B11 B12 B19 B13 B16 B18 C1 C2 C3 C9 C13 C15 C21	Los traballos voluntarios realizados por los alumnos se entregarán estrictamente en los prazos establecidos por los profesores durante el cuatrimestre de impartición de la asignatura.	20
Otros			

### Observacións avaliación

La nota final se obtiene sumando la nota obtenida en el examen y la nota obtenida en los traballos tutelados voluntarios.

Para aprobar la asignatura es necesario obtener un mínimo de 4 sobre 10 en la parte teórico-práctica del examen, que pondera un 65%, y un mínimo de 4 sobre 10 en la parte del examen de uso do programa Abaqus. No se guardan las notas de partes aisladas del examen entre oportunidades de avaliación.

La nota final se calcula sumando a la nota del examen la nota de los traballos tutelados voluntarios, con un valor máximo de estos de 2 sobre 10.

Para aprobar la asignatura es necesario obtener una nota final igual o superior a 5 y cumprir la condición de nota mínima establecida para las dos partes del examen.

Si no se supera una de las partes del examen:

- No se tendrá en cuenta en la nota final la calificación del traballo de curso.
- La nota que figurará en las actas será la media aritmética de las dos partes del examen, con un máximo de 4,9.

Los estudiantes que concurren a la oportunidade adelantada de avaliación podrán solicitar y realizar los traballos tutelados voluntarios de curso con el fin de que sean considerados en la calificación final. Los traballos deberán solicitarse como mínimo con un mes de antelación respecto a la fecha oficial del examen y la entrega será antes de la realización del mesmo.

### Fuentes de información

<b>Básica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cook R., Malkus D., Plesha. M. (1989). Concepts and applications of finite element analysis. John Wiley</li> <li>- E. Oñate (1992). Cálculo de estructuras por el método de elementos finitos. CIMNE</li> <li>- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L (2000). The finite element method (fifth ed.). Vol 1: The Basis, Vol2: Solid mechanics. Thomas Telford</li> <li>- T.J. Hughes (1987). The Finite Element Method. Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis. Prentice-Hall</li> <li>- K.J. Bathe (1996). Finite Element Procedures. Prentice-Hall</li> <li>- Hinton, E., Owen, D.R.J (1980). Introduction to finite element computations. Pineridge Press</li> <li>- Chandrupatla T.R., Belegundu A. (1997). Introduction to finite elements in engineering. Prentice Hall</li> <li>- Anderson W.J. (1994). Linear static finite element analysis. Online training.. Automated Analysis Corporation</li> </ul>
---------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



<b>Complementaría</b>	Mechanics of materials, Hibbeler, R. C., 6ª ed., Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 2005. Análisis Estructural, Hibbeler, R. C., 3ª ed., Prentice Hall Hispanoamericana S.A., Naucalpan de Juárez, Méjico, 1997. Fundamentos de Análisis Estructural, Leet, R. C. and C.M. Uang, 2ª ed., McGraw-Hill Interamericana S.A., México D.F., Méjico, 2006. Structures, Schodek, D. L., 5ª ed., Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 2004. Resistencia de materiales, Gere, J. M. y Timoshenko, S., 5ª ed., Thomson-Paraninfo, Madrid, 2002. Mecánica de sólidos, Popov, E. P. 2, 5ª ed., Pearson Educación, México, 2000. Elasticidad, Ortiz Berrocal, L., 3ª ed., McGraw-Hill, Madrid, 1998. Razón y ser de los tipos estructurales, Torroja Miret, E., 9ª ed., CSIC, Madrid, 1998. Estructuras o por qué las cosas no se caen, Gordon, J. E., Celeste Ediciones, Madrid, 1999.
-----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Recomendaciones

### Asignaturas que se recomienda haber cursado previamente

### Asignaturas que se recomienda cursar simultáneamente

Mecánica de medios continuos/632514002

Puentes I/632514008

### Asignaturas que continúan el temario

Puentes II/632514023

Cálculo sísmico y aeroelástico de estructuras/632514026

Análisis avanzado de estructuras/632514028

Diseño óptimo de estructuras/632514025

Cálculo dinámico de estructuras/632514024

### Otros comentarios

Se requiere conocimiento de los aspectos básicos del cálculo de estructuras.

Es aconsejable el conocimiento de programas de cálculo de estructuras.

(\*) La Guía Docente es el documento donde se visualiza la propuesta académica de la UDC. Este documento es público y no se puede modificar, salvo cosas excepcionales bajo la revisión del órgano competente de acuerdo a la normativa vigente que establece el proceso de elaboración de guías